Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H.-J. Knüttgen

Verhalten der Wärmebilanzgrößen bei 35tägigem Aufenthalt in künstlichem feuchtheißem Klima in Abhängigkeit vom Akklimatisations- und Belastungsgrad

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Martin Baur
aus Kirchheim-Teck

1971

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547611_0054

Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H.-J. Knüttgen

Verhalten der Wärmebilanzgrößen bei 35tägigem Aufenthalt in künstlichem feuchtheißem Klima in Abhängigkeit vom Akklimatisations- und Belastungsgrad

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Martin Baur
aus Kirchheim-Teck

1971

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. H.J. Knüttgen

Berichterstatter: Professor Dr. W. Höfler

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG · Tübingen

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A. Einleitung und Fragestellung	1
B. Versuchsaufbau und -anordnung	7
C. Statistische Methoden	12
D. Berechnungen und Ergebnisse	13
E. Zusammenfassung mit Beantwortung der Fragestellung	33
F. Literaturverzeichnis	38

A. Einleitung und Fragestellung

Beim Menschen sind die Lebensfunktionen an einen verhältnismäßig engen Bereich der Körpertemperatur - etwa 34 - 41°C - gebunden, der aber unter sehr verschiedenen Umgebungstemperaturen aufrechterhalten werden kann.
Die Körpertemperatur in diesem Sinne herrscht in dem homoiothermen Kerngebiet (Kopf- Brust- Bauchhöhle, Blut), dem die poikilotherme Schale gegenübergestellt wird (BAZETT 1949, ASCHOFF 1958). Die Grenze zwischen Kern und Schale ist variabel, und der Temperaturunterschied zwischen beiden Gebieten verringert sich bei hohen Aussentemperaturen auf einen geringen Betrag von 1-2°C.
Für das Verständnis der Temperaturregulation ist die Aufstellung einer Wärmebilanz aufschlußreich. Soll die Kerntemperatur konstant gehalten werden, so muß in stationärem Zustand die Wärmeabgabe der Wärmebildung entsprechen.
Die Zentren für die Regulationsvorgänge liegen im Hypothalamus (THAUER 1939, STRÖM 1950).
Bei Hitzebelastung treten für den Körper zwei Probleme auf:

1. Wärmetransport vom Kern durch die Schale an die Oberfläche
2. Wärmeabgabe von der Oberfläche an die Umgebung.

Der Wärmetransport erfolgt durch Konvektion, d.h. Wärmetransport in bewegtem Medium, nämlich mit dem Blut; wobei die Größe des Wärmetransportes abhängt von der inneren Wärmedurchgangszahl K_i (Maß für die Isolation der Körperschale, entspricht der Durchblutung) als auch von dem Temperaturgefälle zwischen Kern und Schale, also:

$$Q_i = K_i \ (t_K - t_H)$$

wobei Q_i = Wärmestrom
K_i = innere Wärmedurchgangszahl
t_K = Temperatur des Kerns
t_H = Temperatur der Schale

Die Wärmeabgabe an die Umgebung erfolgt durch

1. Konvektion

$$q_c = K_c(t_H - t_L)$$

q_c = Wärmeabgabe durch Konvektion
K_c = Wärmeübergangszahl, deren Größe mit Oberflächenkrümmung und Windgeschwindigkeit zunimmt;
t_H = Temperatur der Haut
t_L = Temperatur der Luft

2. Strahlung

$$q_s = K_s \cdot e\,(T_H^4 - T_W^4) \cdot F$$

K_s = Strahlungskonstante
e = Emissions- bzw. Absorptionskonstante
T_H = Temperatur der Haut
T_W = Temperatur der Umgebung
F = Größe der strahlenden Fläche

3. Verdunstung

$$q_v = K_v\,(e_H - e_L)$$

K_v = Verdunstungszahl
e_H = Dampfdruck der Hautoberfläche
e_L = Dampfdruck der Luft

Daraus ist ersichtlich, daß die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung nur erfolgen kann, solange die Umgebungstemperatur die Hauttemperatur nicht übersteigt, andernfalls wird auf diesen Wärmeaustauschwegen Wärme vom Körper aufgenommen. Somit bleibt bei höherer Umgebungstemperatur die Verdunstung von Schweiß die einzige Möglichkeit Wärme abzugeben, wobei die Verdunstung umso größer wird, je höher der Dampfdruck der Hautoberfläche ist und damit je höher die Hauttemperatur. Weiter ist zu ersehen, daß bei feuchtigkeitsgesättigter Luft noch eine Wasserdampfabgabe möglich ist, wenn die Hauttemperatur höher ist als die Umgebungstemperatur (NELSON et al. 1947; CLIFFORD et al. 1959).

Den Klimazustand kann man also kennzeichnen mit:

1. Lufttemperatur
2. Luftfeuchtigkeit
3. Windgeschwindigkeit
4. Wandtemperatur
5. geometrischen Verhältnissen

So wird beispielsweise eine hohe Außentemperatur umso weniger erträglich sein, je feuchter sie ist, weil die Wasserverdunstung an der Hautoberfläche eingeschränkt wird.
Es ist allgemein bekannt, daß der menschliche Organismus sich langfristig an Hitze oder Kälte anpassen kann, sei es im Zusammenhang mit den jährlichen Temperaturschwankungen oder beim Aufenthalt in verschiedenen Klimazonen. Diese Umstellungen bezeichnen wir als Akklimatisation, wobei es sich im wesentlichen um eine Verbesserung der akuten Regelungsvorgänge unter Einwirkung der chronischen Temperaturbelastung handelt.

Die physiologischen Mechanismen wurden durch experimentelle Arbeiten in der Klimakammer (BASS und LIND 1962, BAZETT u. Mitarb. 1938, 1940; ROBINSON 1943, 1965; HORVATH et al. 1946; EICHNA u. Mitarb. 1945, 1950; BÜNING 1963, HÖFLER und SCHMOLL 1966, 1967; LAASER 1968, LADIPOH 1969, BRISBANE 1969) und in natürlichem tropischem feuchtheißem Klima untersucht (ADOLPH 1947, HELLON und Mitarb. 1956, MACPHERSON 1960, HÖFLER 1966).

Bei heißem Klima ist der Körper einem gewissen Stress ausgesetzt. Er muß versuchen eine Gegenregulation einzuleiten, d.h. die Kreislaufgrößen Pulsfrequenz, Herzminutenvolumen, Kerntemperatur dürfen nach Akklimatisation kaum stärker ansteigen, als bei gleicher Arbeit in kühlem Klima.

Bei akuter Hitzebelastung steigt die Hauttemperatur und damit die Hautdurchblutung, ebenso Pulsfrequenz und Herzminutenvolumen. Ein Mißverhältnis zwischen Gefäßkapazität und zirkulierender Blutmenge kann Blutdruckabfall und schließlich Kreislaufkollaps zur Folge haben. Durch eine erhöhte Schweißproduktion kommt es zusätzlich zu vermehrter Abnahme des zirkulierenden Plasmavolumens und der extrazellulären Flüssigkeit. Ungenügender Wärmetransport und ungenügende Wärmeabgabe führen zum Wärmestau.

Die physiologischen Umstellungen im Laufe der Hitzeakklimatisation betreffen in erster Linie die Schweißabsonderung:

1. die Schweißmenge, die pro Grad Rektaltemperatursteigerung und Zeiteinheit abgesondert wird, kann auf das Doppelte steigen (LADELL 1951);
2. die Schweißproduktion wird ökonomisiert durch
   a) zeitliche Umverteilung:
      anfangs profuse Schweißausbrüche, die in der 1. Stunde am größten sind und dann von Stunde zu Stunde abnehmen (Ermüdung der Schweißdrüßen? GERKING u. ROBINSON 1946; WYNDHAM u. Mitarb. 1966);

allmählich gleichen sich die Schweißmengen an und werden von der Arbeitsdauer unabhängig (LAASER 1968);
b) örtliche Umverteilung (HÖFLER 1968).

3. gegenüber einer mittleren Elektrolytkonzentration des Schweißes von etwa 0,4% sinkt bei Akklimatisation die Konzentration auf 0,03% ab, wodurch sich die Verdunstungsfähigkeit erhöht; außerdem wird der NaCl-Verlust vermindert (LEHMANN).

Fragestellung

Auf der Tatsache, daß der wesentliche Teil der Akklimatisation innerhalb weniger Wochen (ROBINSON u. Mitarb.) verläuft, baut sich das für die Praxis der Hitzearbeit in den südafrikanischen Goldbergwerken entwickelte Akklimatisationsverfahren von WYNDHAM (1960) auf, bei dem Arbeiter in der Weise akklimatisiert werden, daß sie bei mäßig schwerer Arbeit zunächst 6 Tage lang etwa 30°C Umgebungstemperatur bei Feuchtigkeitssättigung der Luft und danach weitere 6 Tage etwa 33°C Feuchttemperatur ausgesetzt werden. Die geforderte Schwerarbeit konnte bei der ersten Hitzeexposition nur 1 1/2 Stunden und nach elfmaliger gleicher Exposition 4 1/2 Stunden geleistet werden.
Im hier dargestellten Versuch soll untersucht werden, ob sich die Akklimatisation an eine schwere Hitzearbeit in einem Testversuch mit leichter Belastung bei gleichem Klima nachweisen läßt, und wie sich die Meß- und Wärmebilanzgrößen in Abhängigkeit vom Belastungsgrad verhalten. Für einen solchen Test scheint sich nach bisherigen Ergebnissen (HÖFLER et al. 1969) die Messung der Temperaturabhängigkeit der Schweißproduktion und der aus der Wärmebilanz berechneten Verdunstung zu eignen, weil dabei die wichtigsten Größen - Schweißmenge, Verdunstung, Korntemperatur - übersichtlich zusammengefaßt werden. Aus praktischen Gründen ist es wünschenswert, eine verhältnismäßig leichte Testarbeit zu wählen, die aber andererseits schwer genug ist, um Unterschiede zwischen unakklimatisiertem und akklimatisiertem Zustand erkennen zu lassen.

B. Versuchsaufbau und -anordnung

Der Versuch wurde in einer Klimakammer durchgeführt (Firma Meissner & Wurst, Stuttgart). Die Kammer ist 230 cm breit, 360 cm lang und 200 cm hoch. Während des Versuchs wird sie von einer laminären Luftströmung durchzogen, die etwa 10 cm über dem Boden der Klimaanlage einströmt; sie zieht zur gegenüberliegenden Wand, steigt dort zur Decke auf, strömt wieder zur Ausgangswand zurück und verläßt die Klimakammer durch einen der Einstromöffnung entsprenden Ausgang. Die Kammer wird durch diesen Luftstrom befeuchtet und temperiert. In der Kammer befanden sich folgende Instrumente und Geräte:

a) ein Fahrradergometer, auf dem die Versuchsperson während des Trainings und der Haupt- und Standardversuche 50 Minuten lang pro Arbeitsphase zu fahren hatte;
b) ein elektrischer Schrittmacher zur Kontrolle
c) eine TOLEDO-Waage, die auf ± 20 gr genau wiegt
d) ein trockenes und ein befeuchtetes, ventiliertes Widerstandsthermometer, die an einem außerhalb der Kammer befindlichen Zweifarbenschreiber angeschlossen waren, welcher die Feucht- und Trockentemperaturen in der Kammer anzeigte
e) ein Fieberthermometer zur Messung der Rektaltemperatur
f) eine Sprechanlage, durch die man der Versuchsperson von außen Anweisungen gab
g) zwei Thermoelemente zur Messung der Mund- und Hauttemperatur an Stirn, Brust, Handrücken und Oberschenkel (Ellab, Kopenhagen)
h) ein Fotoelement zur Messung der Pulsfrequenz, das nach außen an einen fotoelektrischen Pulszähler (nach E.A. Müller) angeschlossen wurde

i) Plastiksäcke zum Schweißsammeln, Plexiglasringe und Plastikfolien mit saugfähigen Zellstoffplatten zur Bestimmung der lokalen Schweißproduktion.

Die Klimakammer ist so gebaut, daß man die Versuchsperson von einem Vorraum aus durch ein Fenster beobachten und kontrollieren kann.

Der ganze Versuch dauerte ca. 7 Wochen in folgender Anordnung:

Mo 16.Juni T	23.Juni T	30.Juni H_1;X	7.Juli H_7
Di 17.Juni T	24.Juni ST_2	1.Juli H_2	8.Juli H_8
Mi 18.Juni T	25.Juni T;U	2.Juli H_3;X	9.Juli H_9;U
Do 19.Juni T;U	26.Juni T	3.Juli ST_4/U	10.Juli H_{10};X
Fr.20.Juni ST_1	27.Juni ST_3	4.Juli H_4;X	11.Juli ST_5
Sa 21.Juni T	28.Juni T	5.Juli H_5	12.Juli H_{11};X
So 22.Juni T	29.Juni -	6.Juli H_6;X	13.Juli H_{12}

Mo 14.Juli H_{13};X;U	21.Juli H_{19}	28.Juli ST_8;X;U
Di 15.Juli H_{14};U	22.Juli H_{20};X;U	29.Juli H_{25};U
Mi 16.Juli H_{15};X	23.Juli H_{21};U	30.Juli H_{26};X
Do 17.Juli H_{16}	24.Juli H_{22};X	31.Juli ST_9
Fr 18.Juli ST_6;X	25.Juli ST_7	
Sa 19.Juli H_{17}	26.Juli H_{23};X	
So 20.Juli H_{18};X	27.Juli H_{24}	

Erklärung:

T :	Training bei 8 kpm/s	Trockentemp. 23°C
ST:	Standardversuch bei 4 kpm/s (=Testversuch)	Trockentemp. 35°C Feuchttemp. 31°C
H :	Hauptversuch bei 8 kpm/s (=Akklimatisationsversuch)	Trockentemp. 35°C Feuchttemp. 31°C

U : Stoffwechselmessung in der 2. Arbeitsphase

X : Säcke zum Schweißsammeln in allen 5 Arbeitsphasen, sonst nur in der 1. und 5. Arbeitsphase

Ablauf:

Die 27 Jahre alte männliche Versuchsperson (athletisch gebauter Afrikaner, 168 cm, 65,7 kg) war für die Arbeit auf dem Fahrradergometer an 10 Tagen (in 5 aufeinander folgenden Arbeitsphasen von je 50 Minuten bei einer Leistung von 8 mkp/s bei 23°C Trockentemperatur gut trainiert.
Die Test- und Akklimatisationsversuche wurden nach folgendem Programm durchgeführt:
Bestimmung der Rektaltemperatur und des Körpergewichtes. Es folgt eine Ruhezeit von 50 Minuten. Dabei wird alle 10 Minuten die Pulsfrequenz, Mundtemperatur, Hauttemperatur (Stirn, Brust, Handrücken, Oberschenkel) gemessen. Die fünf Arbeitsphasen von 50 Minuten auf dem Fahrradergometer bei 4 kpm/s bzw. 8 kpm/s mit einer Trockentemperatur von 35°C und 31°C Feuchttemperatur - relative Feuchte 75% - wurden nach jeder Phase von einer 10 Minuten dauernden Ruhe unterbrochen. In dieser Pause wurde die Rektaltemperatur bestimmt und die Versuchsperson gewogen, um jeweils aus dem Gewichtsverlust die produzierte Schweißmenge ermitteln zu können. Der Gewichtsverlust der vorangehenden Arbeit wurde durch körperwarmen Tee ersetzt. Auch während der Arbeitsphasen wurde alle 10 Minuten die Pulsfrequenz, die Mund- und die Hauttemperatur bestimmt.
An den auf dem Plan mit X bezeichneten Tagen wurden in allen 5 Arbeitsphasen mit Plastiksäcken am linken Unterarm und am linken Unterschenkel der abtropfende Schweiß gesammelt und gemessen; an allen andern Tagen wurde nur in der 1. und 5. Arbeit Schweiß gesammelt (diese Messungen werden an anderer Stelle ausgewertet).

Jeweils am Ende der fünften Arbeit wurde die Hauttemperatur und die lokale Schweißproduktion an folgenden Stellen bestimmt:

1. Stirn
2. Wange
3. vorderes Halsdreieck
4. Brust rechts
5. Thoraxseite rechts
6. Rücken rechts
7. rechter Oberarm
8. rechter Unterarm, Innenseite
9. rechter Oberschenkel, Außenseite oben
10. rechter Oberschenkel, Innenseite unten
11. rechter Unterschenkel, Außenseite

Zur Bestimmung der lokalen Schweißproduktion wurden an den Punkten 1. - 3. Plexiglaskapseln angebracht. Die Kapseln wurden nach Abtrocknen der Haut mit einem Wattebausch in bestimmter Reihenfolge 6 Minuten lang durch Parafilm -"M"- Folie verschlossen. Nach Abnehmen der Folie wurde der inzwischen gebildete Schweiß mit einem vorher auf 1 mg genau abgewogenen Wattetupfer abgewischt und die Gewichtszunahme durch eine anschließende Wägung bestimmt. An den Punkten 4. - 11. wurden saugfähige Zellstoffplatten (10·14 cm) unter luft- und feuchtigkeitsunduchlässigen, nach allen Seiten abgedichteten Plastikfolien mit Gummibändern befestigt. Die Zellstoffplatten, die vorher ebenfalls auf 1 mg genau abgewogen worden waren, wurden nach Abtrocknen der Haut an den entsprechenden Hautarealen fixiert, nach 6 Minuten abgenommen und die Gewichtszunahme bestimmt. Aus der Gewichtszunahme wurden die lokale Schweißsekretion (mittlere Schweißintensität), die Schweißrate, die integrale Schweißmenge, die prozentuale Schweißverteilung in Abhängigkeit vom Akklimatisations- und Belastungsgrad bestimmt.
Diese Ergebnisse werden ausführlich dargelegt in der Dissertation von Jean-Pierre MBOMBOUÉ 1970.

C. Statistische Methoden

Bei den Berechnungen werden jeweils angegeben:

1. der lineare Korrelationskoeffizient r
2. das Steigungsmaß b
3. die Zufallswahrscheinlichkeit p
   (Documenta Geigy, Wissenschaftl. Tabellen, S.61, 6.Auflage 1960)
4. Standardabweichung s

D. Berechnungen und Ergebnisse

(HÖFLER u. Mitarb. 1969, BRISBANE 1969, LADIPOH 1969)

Tabelle 1 zeigt die Meß- und Wärmebilanzgrößen der Akklimatisationsversuche (8 kpm/s);
Tabelle 2 zeigt diejenigen der Testversuche (4 kpm/s). Es werden jeweils angegeben der Ruheausgangswert und die Werte für eine, zwei, drei, vier und fünf Arbeitsphasen. Bei der nachfolgenden Besprechung der Ergebnisse wird von der Überlegung ausgegangen, daß die ersten 3 Versuchstage dem unakklimatisierten Zustand, die letzten 3 Versuchstage dem akklimatisierten Zustand entsprechen. Also werden die Mittelwerte der ersten 3 den Mittelwerten der letzten 3 Versuche gegenübergestellt (mit Angabe der Standardabweichung s).

Für die Bestimmung der Wärmebilanz sind gemessene und berechnete Größen nötig:

1. Berechnung der Wärmespeicherung ΔH (kcal/h)

Sie wird berechnet aus der Rektaltemperaturänderung ΔRT, die sich aus der Messung der Ruhephase und am Ende jeder Arbeitsphase ergeben hatte, aus der spezifischen Wärme des Körpers 0,83 kcal/kg · °C und dem Körpergewicht KG der Versuchsperson:

$$\Delta H = \Delta RT \cdot 0{,}83 \cdot KG \text{ (kcal/h)}$$

Die Rektaltemperatur steigt in den ersten 10 Versuchstagen Stunde für Stunde an, um sich dann auf einen etwa gleichbleibenden Wert einzustellen (Abb. 1) :

a) Hauptversuch
hier steigt die Rektaltemperatur in den ersten 3 Tagen von 37,0°C in Ruhe auf 38,3°C nach 5 Arbeitsstunden. In den letzten 3 Tagen steigt sie von 36,9°C in Ruhe nur auf 37,1°C in 5 Stunden.

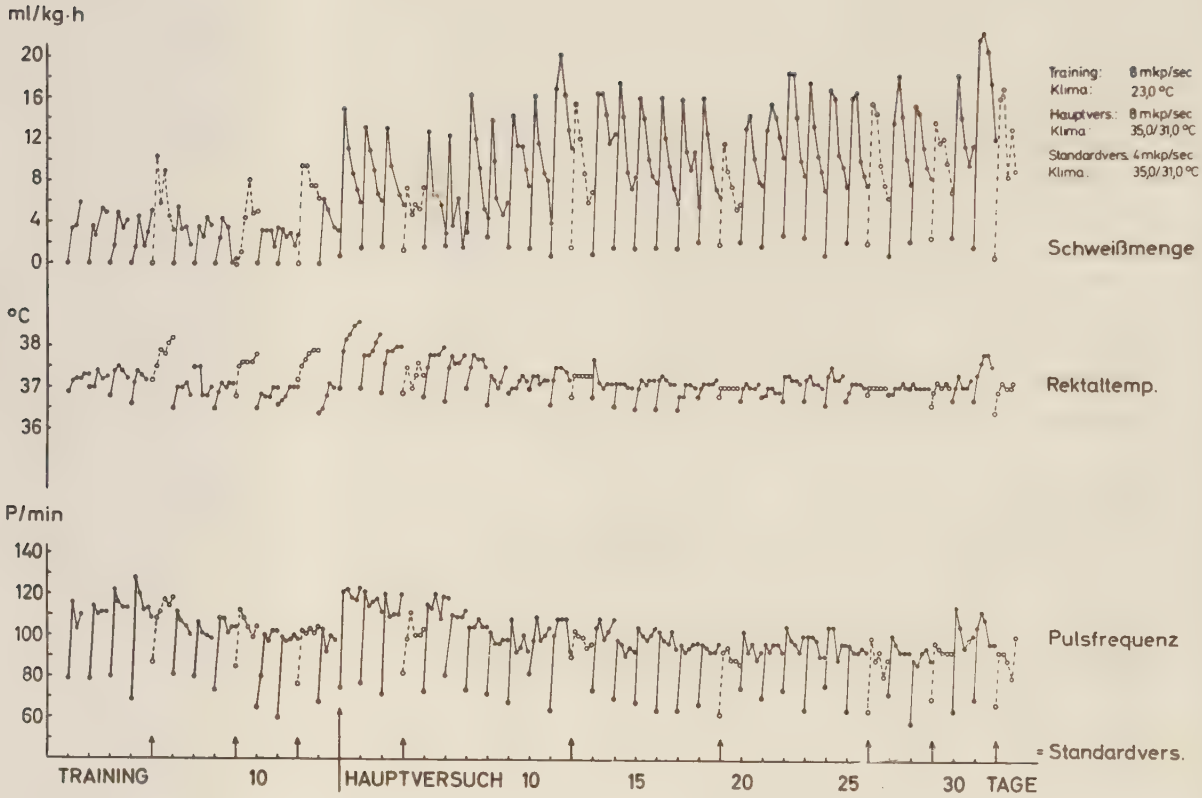

Abb. 1. Verhalten von produzierter Schweißmenge (ml/kg·h), Kerntemperatur und Pulsfrequenz im Verlauf des ganzen Versuches pro Arbeitstag bzw. -stunde. Mit • bezeichnet sind die Hauptversuche, mit o bezeichnet die Standardversuche.

b) Standardversuch

die Rektaltemperatur steigt in den ersten 3 Tagen von 35,9°C auf 38,0°C, also um 2,1°C an. In den letzten 3 Tagen beträgt die Differenz von 36,6°C auf 37,1°C nur 0,5°C.

Für die Wärmespeicherung ΔH ergibt sich (Abb.2):

a) beim Hauptversuch fällt sie von 72 kcal/5h auf 11 kcal/5h signifikant ab ($r= +0,61$; $b= +1,7$; $p < 0,01$).

b) beim Testversuch ist die Wärmespeicherung mit 25 kcal/5h im akklimatisiertem Zustand geringer als in den ersten 3 Tagen mit 49 kcal/5h, doch ist der Unterschied nicht signifikant ($b= -0,74$; $r= -0,52$; $p > 0,1$).

2. Berechnung der Haut-, Trocken- und Feuchttemperaturen

Die Hauttemperatur T_H pro Arbeitsstunde (Arbeits- und Ruhephase) wurde folgendermaßen berechnet: zuerst wurde der einfache Mittelwert der verschiedenen Körperstellentemperaturen (Stirn, Brust, Handrücken und Oberschenkel) für alle 10 Minuten berechnet und aus allen diesen Mittelwerten ein Mittelwert genommen. Zur Berechnung der Trocken- und Feuchttemperatur wurde ebenfalls der einfache Mittelwert aller gemessenen Temperaturen pro Arbeitsphase ermittelt. Die Differenz der Haut- und Trockentemperaturen pro Arbeitsphase wurde berechnet. Die entsprechenden relativen Feuchtigkeitswerte wurden auf einem Psychrometer-Auswertegerät (W.LAMBRECHT) abgelesen.

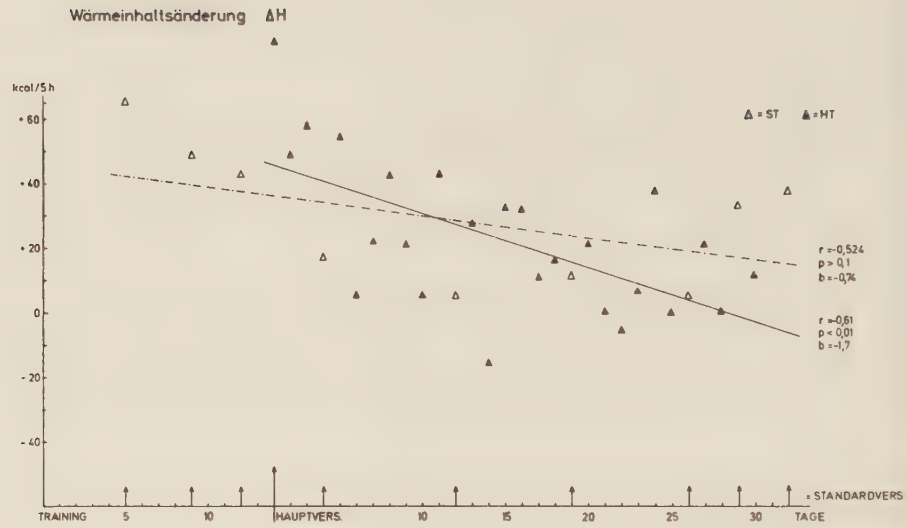

Abb. 2 Verhalten der Wärmeinhaltsänderung ΔH der Haupt- (▲=HT) und Standardversuche (Δ=ST) für fünf Stunden im Verlauf des Versuches. Eingezeichnet ist die Korrelationsgerade (—— = HT; _.-.-._ =ST)

Der Wasserdampfdruck an der Hautoberfläche und in der Kammer (Luft) während jeder Arbeitsstunde wurde aus dem Sättigungsdampfdruck bei der betreffenden Temperatur und der relativen Feuchte ermittelt (Documenta Geigy, Wissenschaftl. Tabellen 1960).

3. Berechnung des Gesamtstoffwechsels M

M = Grundumsatz + Arbeitsumsatz

Der Grundumsatz bei der Versuchsperson war 61 kcal/h, der Arbeitsumsatz wurde bestimmt aus mehreren Messungen und zwar bei den Hauptversuchen aus 6 Gasanalysen in der 2. Arbeitsphase am 8., 12., 14., 20., 21. und 26. Versuchstag.
Der Mittelwert lag bei 201 kcal/h, das entspricht einem Wirkungsgrad von 27%.

Bei den Testversuchen wurden 4 Gasanalysen am 1., 2., 3. und 8. Versuchstag gemacht, wobei die gemessenen Werte streuen zwischen 222 kcal/h und 155 kcal/h. Das Mittel hieraus ergibt 195 kcal/h, was nur einem Wirkungsgrad von unter 20% entsprechen würde. Da hier offensichtlich ein Meßfehler vorlag, wurde für den Arbeitsumsatz ein Mittelwert von 173 kcal/h angenommen, was dann einem Wirkungsgrad von 25% entspricht.

4. Berechnung der Wärmeabgabe bzw. - aufnahme durch Konvektion und Strahlung $Q_{c,s}$

Der Konvektionswärmestrom Q_c ist nach CLIFFORD und Mitarb. (1959) gleich 0,23 · Windgeschwindigkeit^{0,62} mal Differenz der Hauttemperatur und der Trockentemperatur der Luft in kcal/h mal der Körperoberfläche in m^2 :

$$Q_c = 0{,}23 \cdot \text{Wind}^{0,62} \cdot (T_H - T_L) \text{ kcal/h} \cdot m^2$$
$$= 0{,}23 \cdot 17{,}38 \cdot (T_H - T_L) \text{ kcal/h} \cdot m^2$$
$$= 4{,}0 \cdot \text{Oberfläche } (T_H - T_L) \text{ kcal/h} \qquad (1)$$

Für den Strahlungswärmestrom Q_s kann die einfache Temperaturdifferenz zwischen Haut und Kammerwand, in diesem Falle gleich Luft, eingesetzt werden. Mit der Annahme, daß als effektive Strahlungsfläche 80% der Körperoberfläche teilnehmen (HÖFLER), ergibt sich eine fast gleiche Proportionalitätskonstante wie für den Konvektionswärmestrom Q_c, sodaß man beide Wärmeströme zusammenfassen kann:

$$Q_s = 4{,}85 \text{ kcal/h } (T_H - T_L) \cdot 80\% \cdot OF \ (m^2)$$
$$= 3{,}88 \cdot OF \quad (T_H - T_L) \text{ kcal/h} \qquad (2)$$

$$Q_{c,s} = (7{,}88 \cdot OF) \quad (T_H - T_L) \text{ kcal/h} \qquad (1)+(2)$$

Oberfläche der Versuchsperson mit 1,66 m^2 eingesetzt:

$$Q_{c,s} = 13{,}1 \cdot (T_H - T_L) \text{ kcal/h}$$

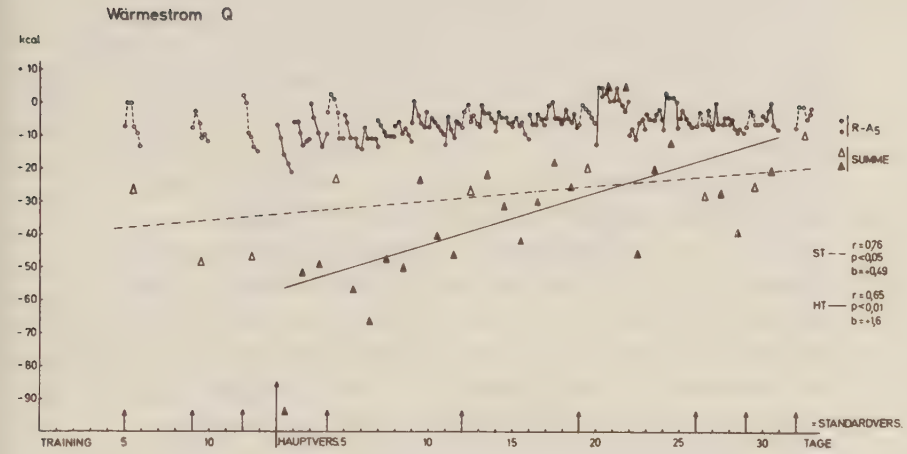

Abb. 3 Verhalten des Wärmestroms Q der Haupt- und Standardversuche im Verlauf des Versuches. Obere Kurve ($R - A_5$) Werte in Ruhe und in den 5 Arbeitsperioden (●=HT; ○=ST). Eingezeichnet sind noch die Werte für 5 Stunden (▲=HT; △=ST) und die Korrelationsgeraden (—— =HT; -·- =ST).

a) Hauptversuch

Die Differenz (Hauttemperatur - Lufttemperatur) nimmt im Laufe der 25 Versuchstage ab. Es konnte in unakklimatisiertem Zustand noch eine Wärmemenge von 60 kcal/5h abgegeben werden. Im Laufe der Akklimatisation konnte am 17. Versuchstag der Körper auf diesem Wege keine Wärme mehr abgeben, da die Hauttemperatur unter die der Lufttemperatur fiel, also sogar Wärme aus der Umgebung aufgenommen wurde. Ab dem 19. Versuchstag stieg die Körpertemperatur wieder etwas über die Lufttemperatur an. Im ganzen gesehen aber konnte in den letzten 3 Versuchstagen noch eine Wärmemenge von 22 kcal/5h abgegeben werden; d.h., daß im Laufe der Akklimatisation die Wärmeabgabe durch Konvektion und Strahlung kleiner geworden ist; hier ist also eine Erschwerung der Situation in dem Sinne eingetreten, daß der Körper seine Verdunstungswärmeabgabe steigern muß ($b=1,6$; $r= +0,65$; $p < 0,01$; Abb.3).

b) Standardversuch

Bei dieser leichten Belastung war es der Versuchsperson fast durchweg möglich Wärme durch Konvektion und Strahlung abzugeben, d.h. die Hauttemperatur blieb in jeder Stunde über der der umgebenden Lufttemperatur. Aber auch hier nimmt $Q_{c,s}$ im Laufe der Akklimatisation von 39 kcal/5h auf 14 kcal/5h linear gesichert ab ($b= +0,49$; $r= +0,76$; $p \leq 0,05$; Abb.3).

5. Berechnung der Verdunsteten Schweißmenge V

Diese Größe wurde für jede der 5 Arbeitsstunden getrennt aus der Wärmebilanzgleichung berechnet:

$$V = M \pm Q_{c,s} \pm \Delta H \text{ (kcal/h)}$$

wobei:

M = Gesamtstoffwechsel (Grundumsatz + Arbeitsumsatz) - mechanische Arbeit

$Q_{c,s}$ = Konvektions- und Strahlungswärmestrom

ΔH = Wärmespeicherung

a) Hauptversuch

Die gesamte evaporative Wärmeabgabe steigt vom unakklimatisierten Zustand mit 599 kcal/5h auf 692 kcal/5h ($b = +3{,}2$; $r = +0{,}75$; $p < 0{,}01$; Abb.4).
Diese erhöhte Wärmeabgabe ist nötig, damit die kleiner gewordene Wärmeabgabe durch Konvektion und Strahlung ausgeglichen werden kann.

b) Standardversuch

Auch hier steigt die verdunstete Schweißmenge von 637 kcal/5h auf 685 kcal/5h ($b = +1{,}33$; $r = +0{,}66$; $p < 0{,}05$; Abb.4).

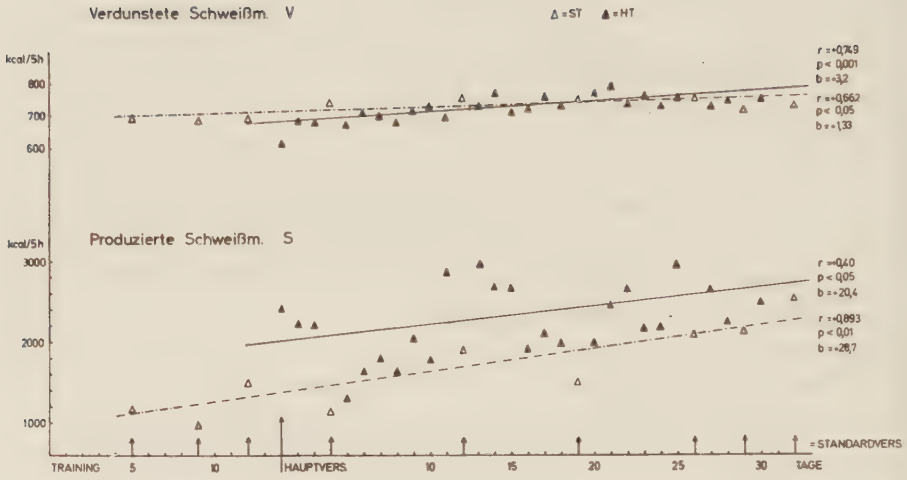

Abb. 4 Verhalten der Verdunsteten Schweißmenge V und der Produzierten Schweißmenge S der Haupt- (▲=HT) und Standardversuche (Δ=ST) für 5 Stunden im Verlauf des Versuchs. Eingezeichnet sind noch die Korrelationsgeraden (—— =HT; -·- =ST).

6. Die Verdunstungskapazität C

Die Verdunstungskapazität C ist die maximale Schweißmenge, die unter den jeweils gegebenen Versuchsbedingungen pro Zeiteinheit verdunsten kann. Sie wird erreicht, wenn auf der ganzen Haut der Sättigungsdampfdruck bei Hauttemperatur herrscht. Da die verdunstbare Schweißmenge von der Windgeschwindigkeit und von dem Wasserdampfdruck auf der Hautoberfläche und in der Luft abhängt, ist die Verdunstungskapazität aus einer Verdunstungszahl K, der Wasserdampfdruckdifferenz zwischen Hautoberfläche und Luft und der Körperoberfläche in m^2 zu berechnen:

$$C = K\ (e_H - e_L)\ kcal/h \qquad \text{(HÖFLER, WS 67/68)}$$

Die Verdunstungszahl K wurde von CLIFFORD et al.(1959) bestimmt:

$$K = 0{,}45 \cdot \text{Windgeschwindigkeit}^{0{,}63}.\text{Torr}.m^2\ (kcal/h)$$

Für e_H wurde unter den vorliegenden Versuchsbedingungen der Sättigungsdampfdruck bei Hauttemperatur angenommen. Die durchschnittliche Luftbewegung in unmittelbarer Nähe der Versuchsperson beim Radfahren betrug 0,5 m/sec. Bei einer Körperoberfläche von 1,66 m^2 ergibt sich damit für die Verdunstungskapazität:

$$C = 13{,}6\ (e_H - e_L)\ \ kcal/h$$

a) durch den niedriger werdenden Wasserdampfdruck bei abfallender Hauttemperatur haben sich die Verdunstungsbedingungen verschlechtert. Somit fällt die Verdunstungskapazität während der Akklimatisation beim schweren Versuch von 867 kcal/5h auf 748 kcal/5h ($b= -3{,}5$; $r= -0{,}58$; $p< 0{,}01$) und bei
b) leichter Bedingung in 5 Stunden von 817 kcal/5h auf 718 kcal/5h ($b= -2{,}7$; $r= -0{,}68$; $p< 0{,}05$; Abb.5) ab.

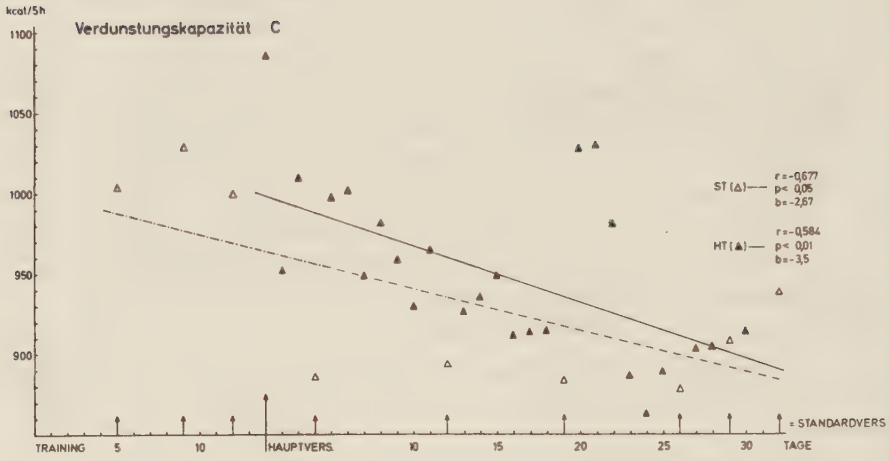

Abb. 5 Verhalten der Verdunstungskapazität C der Haupt- (▲=HT) und Standardversuche (Δ=ST) für 5 Stunden im Verlauf des Versuches. Eingezeichnet sind noch die Korrelationsgeraden (——=HT; -•- =ST).

7. Die produzierte Schweißmenge S
(Abb. 1 u. 4)

Die Schweißproduktion S wurde aus den Gewichtsdifferenzen vor und nach den einzelnen Arbeiten unter Berücksichtigung der aufgenommenen Flüssigkeitsmenge errechnet, nachdem die Versuchsperson abgetrocknet worden war. Dabei wurde das spezifische Gewicht des Schweißes dem des Wassers gleichgesetzt, dessen Verdunstungswärme bei den hier vorliegenden Hauttemperaturen 0,58 kcal/g beträgt:

S (kcal/h) = Schweiß (ml/h) · 0,58

Produzierte Schweißmenge S, verdunstete Schweißmenge V, Verdunstungskapazität C wurden jeweils für jede Stunde getrennt und für alle 5 Stunden zusammen berechnet. Die Schweißmenge war in der 1.Stunde am höchsten und fiel dann in den folgenden Arbeitsphasen Stunde für Stunde ab. Vom 11. Versuchstag an verschob sich das Maximum auf die 2. Stunde, gelegentlich auch auf die 3. Stunde.

a) Hauptversuch
Die Ruheschweißmenge nahm von 62 kcal/h auf 71 kcal/h zu, in der 1. Stunde wurden unakklimatisiert 523 kcal/h, akklimatisiert 597 kcal/h erreicht, und für 5 Stunden zeigt sich eine lineare Zunahme von 1724 kcal/5h auf 2360 kcal/5h, d.h. von 37% ($b = +20,4$; $r = +0,4$; $p < 0,05$; Abb.4).

b) Testversuch
hier nimmt die Schweißproduktion um 70% zu, von 1270 kcal/5h auf 2150 kcal/5h ($b = +28,7$; $r = +0,89$; $p < 0,01$; Abb.4).

8. Beziehungen zwischen Schweißmenge S und Verdunstungsgröße V zur Rektaltemperatur (vergl. Abb.6 und Tabelle 1 und 2)

a) Hauptversuch (Tab.1)

In akklimatisiertem Zustand kann die Versuchsperson bei einer Kerntemperatur zwischen 37,0°C und 37,1°C Schweißmengen von 600 ml/h in der 1. Arbeit, 590 ml/h in der 2., 460 ml/h in der 3., 365 ml/h in der 4. und 340 ml/h in der 5. Arbeit produzieren und erreicht eine Verdunstung von durchschnittlich 136 kcal/h über 5 Arbeitsstunden. In den ersten 3 Versuchstagen wurden bei 37,8°C Kerntemperatur 523 kcal/h Schweiß gebildet (1.Std.). Die Verdunstung wurde in den folgenden Stunden bei steigender Kerntemperatur und fallender Schweißproduktion aufrechterhalten.
In Abb. 6 sind die im Verlauf von 1,2,3,4, und 5 Stunden gebildeten bzw. verdunsteten Schweißmengen des Akklimatisations- und des Testversuchs gegen die betreffende Kerntemperatur aufgetragen. Die Kurven beider Größen S und V verlaufen in akklimatisiertem Zustand steiler und kommen zur Deckung; dabei ist die Schweißmenge mehr als dreimal so hoch als die Verdunstungsgröße. Der Ordinatenabstand zwischen Schweißmengen- und Verdunstungskurve wächst ebenfalls mit Zunahme der Akklimatisation.

b) bei den Testversuchen vermag die Versuchsperson in den ersten 3 Tagen bei einer Kerntemperatur von 37,5°C 308 kcal/h in der 1. Stunde zu bilden und in den letzten 3 Versuchen bei einer Kerntemperatur von 36,9°C - 37,1°C Schweißmengen von 570 ml/h in der 1. Arbeit, 540 ml/h in der 2., 380 ml/h in der 3. und 4., und 280 ml/h in der 5. Arbeit zu produzieren und erreicht eine konstante Verdunstung von durchschnittlich 139 kcal/h (Tab. 2).

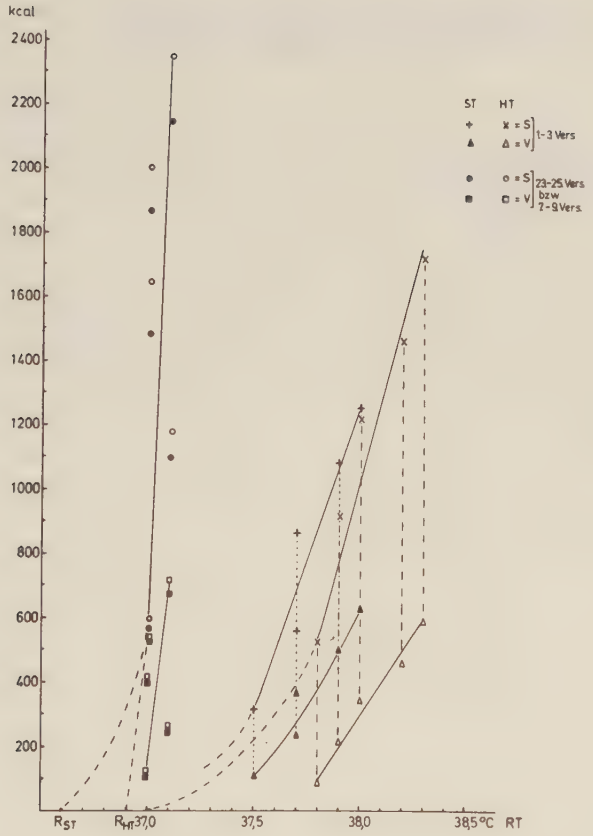

Abb. 6 Beziehung zwischen Schweißmenge bzw. Verdunstung und Kerntemperatur in den ersten 3 und letzten 3 Versuchstagen des Haupt- und Standardversuchs. Die in 1-5 Std. gebildete bzw. verdunstete Schweißmenge ist gegen die zu diesem Zeitpunkt erreichte Kerntemperatur aufgetragen. R_{HT} und R_{ST} Kerntemperatur des Haupt- bzw. Standardversuches in Ruhe vor der ersten Arbeit.

9. Verhältnis der produzierten Schweißmenge S zur Verdunstungswärmeabgabe V S/V

a) Die verdunstete Schweißmenge V ist immer kleiner als die produzierte, so daß es immer zum Abtropfen von Schweiß kommt. S/V steigt von 2,9 auf 3,4 (Abb.7).
Da im Verlauf der Hitzeakklimatisation der größte Teil der abgegebenen Wärme zu Lasten der Verdunstungswärmeabgabe V geht (KUNO, HORVATH, LADELL 1951, WINSLOW, HERRINGTON 1949, LEHMANN, HÖFLER 1966) wird durch eine Steigerung der prodizierten Schweißmenge die Zunahme der Verdunstungswärmeabgabe gefördert.

b) beim Testversuch steigt das Verhältnis S/V von 2,0 auf 3,1 (Abb.7).

10. Verhältnis der produzierten Schweißmenge S zur Verdunstungskapazität C S/C (Abb.7)

a) im Laufe der Akklimatisation nimmt der Quotient S/C von 2,0 auf 3,2 zu, da ja die Schweißmenge zu- und die Verdunstungskapazität abnahm.

b) im Testversuch wird S/C nur 2,8 da sich die Verdunstungskapazität nicht so sehr verschlechtert hat.

11. Verhältnis zwischen verdunsteter Schweißmenge V und der Verdunstungskapazität C V/C

Definitionsgemäß darf die Verdunstungsmenge V nie größer als die Verdunstungskapazität C, d.h. V/C nie größer 1 sein.
V/C steigt bei beiden Belastungsgraden von 0,7 auf 0,93 an.

12. Pulsfrequenz
(Abb.1)

Die Pulsfrequenz nimmt im Laufe der Akklimatisation von 73 Schlägen/min auf 65 Schläge/min in Ruhe, die Pulsfrequenz nach 5 Stunden Arbeit von 119 Schlägen/min auf 93 Schläge/min ab. Dieselben Endwerte stellt man bei den Testversuchen fest.

13. Beziehung zwischen Verdunstungskapazität C, Schweißmenge S und Verdunstung V

Erklärung zu Abb.7 :
Trägt man die Quotienten V/C und S/V gegen die zugehörigen S/C-Werte auf, so sieht man die Beziehungen zueinander:
Wenn die V/C-Werte auf der Geraden liegen, wäre die Verdunstungsgröße V gleich der Schweißmenge S, d.h. der gebildete Schweiß könnte ganz verdunstet werden. Wenn die S/V-Werte auf der Geraden liegen, wäre die Verdunstungsgröße V gleich der Verdunstungskapazität C; also ist der Abstand der V/C-Werte von der Geraden (V=S) der Anteil der nicht verdunsteten Schweißmenge. Bei V/C = 1 ist die Haut voll befeuchtet.
In den ersten 3 Tagen wurde mit einer Schweißmenge von 2,0 C bei dem Hauptversuch die Verdunstungskapazität zu 70% genützt.
Beim Testversuch wurde die Verdunstungskapazität mit einer Schweißmenge von 1,5 C zu 75% genützt.
Nachdem die Schweißmenge in akklimatisiertem Zustand bei beiden Belastungsgraden den dreifachen Betrag von C erreicht hatte, wurde die maximale Verdunstung nahezu erreicht: es wurden 93% der Verdunstungskapazität ausgenützt.

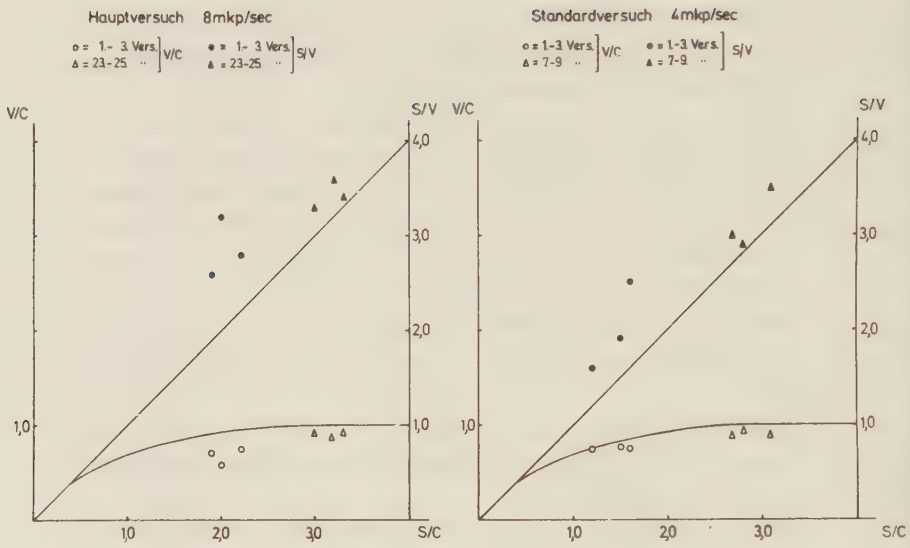

Abb.7 Beziehung zwischen Verdunstungskapazität C Schweißmenge S und Verdunstung V (Darstellung in Anlehnung an McKERSLAKE,1963) der Haupt (Akklimatisations)- und der Standard(Test)versuche.

Die eingezeichnete Kurve entspricht früheren Versuchen.

E. Zusammenfassung mit Beantwortung der Fragestellung

Nach einer Trainingsperiode ließ man die Versuchsperson unter Testbedingungen mit 4 kpm/s bei einem Klima von 35°C Trocken- und 31°C Feuchttemperatur auf einem Fahrradergometer fahren. Die Kreislaufgrößen stiegen an, denn die Versuchsperson war nicht an dieses feuchtheiße Klima angepaßt.
Im weiteren Verlauf mußte sie sich innerhalb 26 Versuchstagen bei einer Belastung von 8 kpm/s an das Klima gewöhnen. Gegen Ende der Versuchsdauer und ganz am Schluß wurden wieder Testversuche gefahren. Der Mittelwert aus diesen Testversuchen ergab, daß die Werte für Pulsfrequenz, Kerntemperatur, Schweißmenge, Wärmespeicherung, Wärmestrom und Verdunstungskapazität fast den Werten aus dem Mittel der drei letzten Akklimatisationsversuche gleichen (der 26. Akklimatisationsversuch wurde nicht bei der Auswertung berücksichtigt, da dessen Werte völlig von den übrigen Abwichen).

Eine Kombination von 35/31°C (75% relative Feuchte) mit einer Arbeit von 4 kpm/sec (Gesamtumsatz etwa 180 kcal/h) dürfte daher in dem Bereich liegen, der für die Bestimmung des Akklimatisationsgrades in einem Standardtest geeignet ist.

Tabelle 1

Wärmebilanzgrößen beim Hauptversuch während Ruhe und ein- bis fünfstündiger Hitzearbeit in den ersten 3 und letzten 3 Tagen(mit Standardabweichung s)

	Ruhe	1 Stunde	2 Stunden	3 Stunden	4 Stunden	5 Stunden
Kerntemperatur	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1. - 3.Vers.	37,0±0	37,8±0,1	37,9±0,2	38,0±0,2	38,2±0,3	38,3±0,3
23 . -25.Vers.	36,9±0,1	37,0±0,1	37,1±0,2	37,0±0	37,0±0	37,1±0,1
Schweißmenge	kcal	kcal/h	kcal/2h	kcal/3h	kcal/4h	kcal/5h
1. - 3.Vers.	62± 2	523±49	1222±121	1471±151	1471±151	1724±121
23. -25.Vers.	71±32	597±91	1188±46	1652±87	2017±103	2361±111
Verdunstung	kcal	kcal/h	kcal/2h	kcal/3h	kcal/4h	kcal/5h
1. - 3.Vers.	63+14	95+9	220+19	348+24	468+30	599+24
23. -25.Vers.	55±12	136±11	271±16	417±3	555±1	692±11
W.-speicherung	kcal	kcal/h	kcal/2h	kcal/3h	kcal/4h	kcal/5h
1. - 3.Vers.	-5±14	43±5	82±11	58±11	67±12	72±14
23. -25.Vers.	0±19	7±8	13±17	7±8	9±8	11±14
Wärmestrom	kcal	kcal/h	kcal/2h	kcal/3h	kcal/4h	kcal/5h
1. - 3.Vers.	-4±3	-6±3	-17±8	-29±13	-45±18	-60±23
23. -25.Vers.	-5±2	-2±3	-7±3	-10±7	-16±8	-22±9

Forts. Tabelle 1

	Ruhe	1 Stunde	2 Stunden	3 Stunden	4 Stunden	5 Stunden
Verd.Kapaz.	kcal	kcal/h	kcal/2h	kcal/3h	kcal/4h	kcal/5h
1.- 3.Vers.	153±11	158±5	325±18	498±31	680±45	864±58
23.-25.Vers.	169±12	144±9	287±23	437±19	590±18	748±16
V/C						
1.- 3.Vers.	0,41±0,11	0,60±0,07	0,68±0,09	0,70±0,09	0,69±0,08	0,70±0,07
23.-25.Vers.	0,34±0,15	0,93±0,11	0,93±0,10	0,96±0,04	0,94±0,03	0,93±0,03
S/V						
1.- 3.Vers.	1,0±0,2	5,6±1,0	4,2±0,8	3,5±0,5	3,1±0,5	2,9±0,4
23.-25.Vers.	1,3±0,2	4,5±1,0	4,4±0,4	3,9±0,1	3,6±0,2	3,4±0,2
S/C						
1.- 3.Vers.	0,4±0,0	3,3±0,2	2,8±0,2	2,4±0,2	2,1±0,2	2,0±0,1
23.-25.Vers.	0,4±0,2	4,1±0,4	4,1±0,2	3,8±0,1	3,4±0,2	3,2±0,1
Pulsfrequenz	Schläge/min					
1.- 3.Vers.	73±2	120±2	115±7	114±5	113±7	119±3
23.-25.Vers.	65±5	99±13	93±7	93±1	94±2	93±6

Tabelle 2

Wärmebilanzgrößen beim Standardversuch während Ruhe und ein- bis fünfstündiger Hitzearbeit in den ersten 3 und letzten 3 Tagen (mit Standardabweichung s)

	Ruhe	1 Stunde	2 Stunden	3 Stunden	4 Stunden	5 Stunden
Kerntemperatur	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1.-3.Versuch	35,9±2,8	37,5±0	37,7±0,2	37,7±0,1	37,9±0,3	38,0±0,2
7.-9.Versuch	36,6±0,1	36,9±0,1	37,1±0,1	37,0±0	37,0±0,1	37,1±0,1
Schweißmenge	kcal	kcal/h	kcal/2h	kcal/3h	kcal/4h	kcal/5h
1.-3.Versuch	0±0	308±123	559±202	869±201	1085±247	1268±276
7.-9.Versuch	65±36	573±33	1111±140	1490±68	1870±139	2151±187
Verdunstung	kcal	kcal/h	kcal/2h	kcal/3h	kcal/4h	kcal/5h
1.-3.Versuch	54±10	121±10	248±6	283±10	510±6	637±3
7.-9.Versuch	53±3	129±7	264±25	408±7	548±11	685±13
W.-Speicherung	kcal	kcal/h	kcal/2h	kcal/3h	kcal/4h	kcal/5h
1.-3.Versuch	11±0	24±8	36±3	36±3	43±6	49±6
7.-9.Versuch	0±0	16±11	24±17	20±14	22±14	25±17
Wärmestrom	kcal	kcal/h	kcal/2h	kcal/3h	kcal/4h	kcal/5h
1.-3.Versuch	-6±3	-1±2	-6±5	-16±2	-26±8	-39±9
7.-9.Versuch	-8±3	-1±1	-4±4	-9±5	-10±8	-14±10

Fort. Tabelle 2

Verd.Kapaz.	Ruhe kcal	1 Stunde kcal/h	2 Stunden kcal/2h	3 Stunden kcal/3h	4 Stunden kcal/4h	5 Stunden kcal/5h
1.-3.Versuch	170±18	156±3	318±11	490±8	667±8	845±12
7.-9.Versuch	167±14	147±8	287±5	438±14	584±13	746±18
V/C						
1.-3.Versuch	0,3±0,1	0,77±0,07	0,78±0,03	0,78±0,03	0,77±0,02	0,75±0,02
7.-9.Versuch	0,3±0,04	0,88±0,1	0,92±0,05	0,93±0,04	0,94±0,04	0,92±0,04
S/V						
1.-3.Versuch	0±0	2,5±0,9	2,2±0,8	2,3±0,5	2,1±0,5	2,0±0,5
7.-9.Versuch	1,2±0,6	4,4±0,1	4,4±0,6	3,6±0,1	3,4±0,2	3,1±0,3
S/C						
1.-3.Versuch	0±0	2,0±0,8	1,8±0,6	1,8±0,4	2,1±0,5	1,5±0,3
7.-9.Versuch	0,4±0,2	3,9±0,6	3,9±0,6	3,4±0,3	3,4±0,3	2,8±0,2
Pulsfrequenz	Schläge/min					
1.-3.Versuch	83±5	107±4	105±5	108±8	104±9	107±9
7.-9.Versuch	67±3	95±3	91±3	90±2	94±7	93±6

LITERATURVERZEICHNIS

BRISBANE, S. S.: Änderungen von Wärmebilanzgrößen bei der Akklimatisation in feuchtheißem Klima. Diss. Tübingen 1969.

BUENING, M.: Die Physiologischen Vorgänge bei der Hitzeakklimatisation des Menschen. Diss. Tübingen 1963.

CLIFFORD, J., D. McKERSLAKE, and J. L. WADDELL: The effect of wind speed on maximum evaporative capacity in man. J. Physiol. (Lond.) 147, 253 (1959).

EICHNA, L.W., CH. R. PARK, N. NELSON, S. M. HORVATH, and E. D. PALMES: Thermal regulation during acclimatization in a hot, dry (desert-type) environment. Amer. J. Physiol. 163, 585 (1950).

GLASER, E. M.: Acclimatization to Heat and Cold. J. Physiol. (Lond.) 147, 330 (1949).

HÖFLER, W.: Verlauf der Hitzeakklimatisation in einem natürlichen tropischen Klima. Z. Tropenmed. Parasit. 17, 127 (1966).

-,: Verhalten der Schweißsekretion bei der Akklimatisation in einem natürlichen tropischen Klima. Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 22, 317 (1966).

-,: Hitzeakklimatisation. Hippokrates 14, 517 (1968).

-, D. SCHMOLL u. R. VOIGT: Verteilung der Schweißsekretion auf der Körperoberfläche bei der Hitzeakklimatisation. Naturwissenschaften 53, 503 (1966).

-, J. LADIPOH und U. LAASER: Beziehung zwischen Schweißmenge, Verdunstung und Körpertemperatur bei der Akklimatisation in künstlichem feuchtheißem Klima. Int. Z. angew. Physiol. 27, 34(1969).

HORVATH, S. M., W. B. SHELLEY: Acclimatization to extreme heat and its effect on the ability to work in less severe environments. Amer. J. Physiol. 146, 336 (1946).

KEIDEL, W. D.: Lehrbuch der Physiologie, 214-226 (1967).

KUNO, Y.: The Physiology of human perspiration. Lond.: Churchill (1956).

LADIPOH, J.: Verhalten der Wärmebilanzgrößen bei 35-tägigem Aufenthalt in künstlichem feuchtheißem Klima. Diss. Tübingen 1969.

LAASER, U. R.: Physiologische Reaktionen während eines fünfwöchigen Daueraufenthaltes in einem künstlichen feuchtheißen Klima. Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 25, 279 (1968).

MÜLLER, E. A. u. H. G. WENZEL: Die Beurteilung des Arbeitsklimas. Handb. ges. Arbeitsmed. 1, 589 (1961).

NAUCK, E. G.: Zur Frage der Akklimatisation. Dtsch.Med. Wschr. 65, 1046 (1939).

REIN, H., M. SCHNEIDER: Physiologie des Menschen. 13/14. Aufl., 215-231 (1960).

ROBINSON, S., E. S. TURRELL, H. S. BELDING, S. M. HORVATH: Rapid Acclimatization to work in hot climates. Amer. J. Physiol. 140, 168 (1943).

SCHMOLL, D.: Phasen der Akklimatisation an Hitzearbeit während eines dreiwöchigen Daueraufenthaltes in einem feuchtheißen Klima. Diss. Tübingen 1967.

WENZEL, H. G.: Das Verhalten des Menschen bei körperlicher Arbeit unter Hitzebelastung. 18. dtsch. Sportärzte-Kongreß, Hamburg 1957, S.156, Frankfurt.

-,: Messungen der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Hitzearbeit. Zbl. Arb. wiss. 15, 17 (1961).

WYNDHAM, C. H., N. B. STRYDOM, J. F. MORRISON, F. D. DUTOIT and J. G. KRAAN: A new method of acclimatization to heat. Arbeitsphysiol. 15, 373 (1954).

Für die Überlassung des Themas und seine Ratschläge
danke ich Herrn Professor Dr. Höfler.
Mein Dank gilt außerdem Herrn J.P. Mbomboué,
der sich als Versuchsperson zu Verfügung stellte,
und Frl. Hermann, die bei der Durchführung und
Auswertung des Versuchs behilflich war.

Lebenslauf

Am 24. März 1946 wurde ich, Martin Baur, als Sohn des Bauingenieurs Franz Baur und seiner Ehefrau Klara Baur, geb. Herzer, in Kirchheim-Teck geboren.
Nach 4 Jahren Grundschule (1952-1956) trat ich 1956 in das Gymnasium Kirchheim-Teck ein und legte dort im Februar 1965 das Abitur ab.

Von Sommersemester 1965 bis Sommersemester 1971 studierte ich das Fach Medizin an den Universitäten Tübingen und Wien.
Das Medizinische Staatsexamen legte ich im Juli 1971 in Tübingen ab.